

渭河干流杨凌段水边线提取及其分维数计算方法研究

夏积德^{1,2}, 江仕荣², 周波¹

(1. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 利用 RGB 遥感影像和 DEM 数据, 采用 Sobel 算子法、人工交互阈值分割法、DEM 河网法和面向对象分类法提取渭河干流杨凌段水边线信息和分维数计算。结果表明: 不同方法所提取的水边线的盒分维方程的判定系数差别不明显, 且具有良好的提取效果; 当数据精度较高, 研究面积较小时, 人工交互阈值分割法具有较高的提取精度, 高分辨率 RGB 遥感影像也能用于提取水边线信息; 研究区河流分维数在 1.0~1.4 之间, 属于侵蚀发育阶段的幼年期; 文中 4 种方法提取水边线均可行, 在缺乏高精度 DEM 数据的情况下, 采用 RGB 遥感影像也可以较好地提取水边线信息。

关键词: 分形几何; 水边线提取; 计盒分维; 渭河干流杨凌段

中图分类号: TV82

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2019)06-0045-05

Waterline extraction and fractal dimension calculation method of Yangling Section of Weihe River main stream

XIA Jide^{1,2}, JIANG Shirong², ZHOU Bo¹

(1. Yangling Vocational and Technical College, Yangling 712100, China;

2. Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: The RGB remote sensing images and DEM data were used, and the Sobel operator method, artificial interactive threshold segmentation method, DEM river network method and object-oriented classification method were adopted to extract waterline information and calculate fractal dimension of Yangling Section of the main stream of Weihe River. The results showed that the coefficient difference of the fractal dimension equation of the waterline extracted by different methods is not obvious, and their extraction effect was good. The artificial interaction threshold segmentation method has a relatively higher extraction precision, and the high-resolution RGB remote sensing image can be safely used for the waterline information extraction. The fractal dimension of the study area was between 1.0 and 1.4, which means the Yangling main stream is at the infancy of the erosion development. The four methods tested in this paper were all feasible to extract waterline. With the absence of high-precision DEM data, an RGB remote sensing image can also be used to extract waterline information.

Key words: fractal geometry; waterline extraction; box-counting dimension; Yangling section of Weihe River main stream

1 研究背景

分形理论是对复杂形体不规则性的量度, 以探索和揭示隐藏在复杂现象不规则形态背后的规律及本质联系^[1], 并可用分形维数来反映复杂形体占有空间的有效性。水边线是复杂形体, 通过对水边线

盒分形维数的计算有助于了解河流的侵蚀发育阶段, 为水土流失防治提供参考和依据。由于多光谱遥感影像具有信息量丰富的特点, 目前在大多数研究中均采用归一化差值水体指数 (NDWI) 方法对多光谱遥感影像数据进行处理以提取水边线信息^[2-3]。在实际操作过程中, 多光谱遥感影像又具

收稿日期: 2019-06-04; 修回日期: 2019-07-15

基金项目: 陕西省水利厅科技项目 (2017S1kj-11); 陕西省科技厅项目 (2016NY-091)

作者简介: 夏积德 (1980-), 男, 河南鹿邑人, 博士, 副教授, 主要从事水土流失防治及综合治理研究。

有采集周期长、占用储存空间大、计算要求高等缺点。相比之下,RGB 遥感影像(如 GOOGLE 影像、BAIDU 影像)更容易获取,但目前基于 RGB 遥感影像提取水边线的研究较少。

在采集水边线信息时,多采用影像波段选取法、人工交互阈值分割法、Roberts 算子法、Sobel 算子法、Canny 算子法、Laplace 算子法、面向对象分类法等^[4]。其中,Sobel 算子法是根据灰度图边缘表现不连续的规律来提取边缘信息,多用于小范围的检测^[5-8];人工交互阈值分割法是通过观察图像的灰度直方图确定阈值,根据计算结果对阈值进行不断修正的水边线提取方法;面向对象分类法将具有连续色调的单色影像按一定密度范围分割成若干等级,然后根据等级再将地物分割^[9]。这3种方法更为常用。

为探究在缺少多光谱影像时能否运用 Sobel 算子法、人工交互阈值分割法、面向对象分类法对水边线信息进行提取,本文以渭河干流杨凌段为例进行研究,并与 DEM 数据结果进行了对比分析,以期为研究区水沙运移和河道管理提供依据。

2 研究区概况与数据来源

2.1 研究区概况

渭河是黄河最大的一级支流,发源于甘肃省渭源县鸟鼠山,自西向东流经甘肃、宁夏、陕西,于陕西潼关注入黄河,全长 818 km,流域总面积 $13.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。渭河流域杨凌段位于渭河中游段,区间无较大支流汇入,流域面积 $38\,017 \text{ km}^2$,占渭河流域总面积的 28.2%,渭河自西向东从杨凌示范区南侧穿过,全长约 11.8 km,河床宽 500~1 000 m,多年平均流量约为 $136.5 \text{ m}^3/\text{s}$,年总径流量约为 $43.06 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。杨凌位于陕西黄土高原南部、关中平原西部,是我国唯一的农业高新技术产业示范区,也是国家批准为向亚太经合组织开放的十大工业园区和国家重点支持的五大高新区之一。区内地势整体趋于平缓,北高南低,西高东低。东临武功,西倚扶风,南面渭河,北部为塬地,总面积 135 km^2 。杨凌全区属于温带半湿润半干旱气候,降水多为夏季和秋季,年平均降水量约 630 mm,年均气温为 $13 \text{ }^\circ\text{C}$,夏季炎热,冬季寒冷,全区塬、坡、滩地交错,土壤肥沃,适宜多种农作物生长。

2.2 数据来源

DEM 数据分别为地理空间数据云网站下载的 2009 年 ASTER GDEM 数据($30\text{m} \times 30 \text{ m}$ 分辨率)和

杨凌区 2009 年 1:10000 地形图数字化后经过普通克里金插值生成($5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 分辨率)。

RGB 影像数据来源于高分单波段 Google Earth (以下简称 GE 数据)。其中,2009、2010、2014 年 GE 数据空间分辨率分别为 $0.536 \text{ m} \times 0.536 \text{ m}$,2011 年 GE 数据空间分辨率为 $1.072 \times 1.072 \text{ m}$ 。

3 研究方法

3.1 Sobel 算子法

Sobel 算子法基本原理^[10-12]:假设连续图像函数为 $f(x,y)$,函数在 (x,y) 处的梯度是一个具有方向和大小的矢量,即:

$$f'(x,y) = \frac{\partial f}{\partial x} i + \frac{\partial f}{\partial y} j \quad (1)$$

式中: i,j 分别为 x,y 方向的单位矢量。

梯度算子的幅值和方向分别为:

$$\text{grad}[f(x,y)] = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$\theta = \arctan \left[\frac{\partial f / \partial y}{\partial f / \partial x} \right] \quad (3)$$

式中: $\text{grad}[f(x,y)]$ 值即为图像在 (x,y) 处的边缘数据,将边缘数据与事先设置好的阈值对应,大于阈值则输出为边缘像素,否则输出为非边缘像素。

3.2 人工交互阈值分割法

阈值分割法^[13]是根据图像的灰度直方图,按照一定的规则选择两个峰值之间的谷底作为阈值,对图像进行检测的方法。其表达式为:

$$g(x) = \begin{cases} 255 & f(x,y) \geq T \\ 0 & f(x,y) < T \end{cases} \quad (4)$$

式中: $g(x)$ 为运算后的二值图; T 为阈值。

3.3 面向对象分类法

面向对象分类法^[14]以建立统计识别函数为理论基础,依据典型样本训练方法进行分类的技术,根据预先给定的训练样本,得到各类栅格的判别函数 g_1, g_2, \dots, g_c 。根据判别函数计算各栅格 X 的值 $g_1(x), g_2(x), \dots, g_c(x)$,选择其中的最大值,对 X 进行分类。

3.4 DEM 河网法

根据流域实际对 DEM 数据进行填洼处理,计算出各中心栅格与周围栅格之间的距离权落差,选取差值最大的方向作为水流流向。根据栅格水流流向计算出各个点的流量值,结合各栅格的水位单元体积,得到区域内的汇流累计量水系河网。距离权落差计算公式为:

$$S = \Delta Z/D \quad (5)$$

式中: ΔZ 为中心栅格与周边栅格之间的高程差, m ; D 为栅格中心之间的距离, m 。

3.5 盒分维计算

通过不同边长 δ 的栅格所覆盖的水系图, 计算相应的覆盖水系图栅格数量 $N(\delta)$ 。根据分形理论, 二者关系式为:

$$\delta \propto N(\delta) \quad (6)$$

由正比关系可知, 对关系式(6) 的两边同时取以 e 为底的对数, 也满足正比关系。即:

$$\ln(\delta) \propto \ln(N(\delta)) \quad (7)$$

由栅格边长 δ 的变化得到数集 $(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_{x-1}, \delta_x)$ 和栅格数量集 $(N(\delta_1), N(\delta_2), \dots, N(\delta_{x-1}), N(\delta_x))$, 同时取两者的对数得到 $\ln(\delta)$ 和 $\ln(N(\delta))$ 数集, 以 $\ln(\delta)$ 为横坐标、 $\ln(N(\delta))$ 为纵坐标绘制散点图, 并拟合得趋势线方程与判定系

数 R^2 。

$$\ln(N(\delta)) = -D \ln(\delta) + B \quad (8)$$

式中: 由趋势线方程所得斜率 D 即为研究区地貌形态分形信息维数。

4 结果分析与讨论

4.1 盒分维值计算与比较

以 2009 年 GE 数据和 DEM 为例, 分别选取边长 δ 为 0.1、0.2、0.4、0.8、2、4、8、10、16、32、64, 得到对应的 $N(\delta)$ 以及 $\ln(\delta) - \ln(N(\delta))$ 关系图, 见图 1。

根据图 1(a), 各方法所得曲线最佳的边长 δ 在 (1,5) 的范围内, 其中采用 RGB-GE 数据的 3 种方法, 其拐点对应边长均大于原始图像分辨率, 而 DEM 数据拐点对应边长均小于原始图像分辨率。根据图 1(b) 中的线性关系, 确定各方法的盒分维值 D 及判定系数 R^2 , 见表 1。

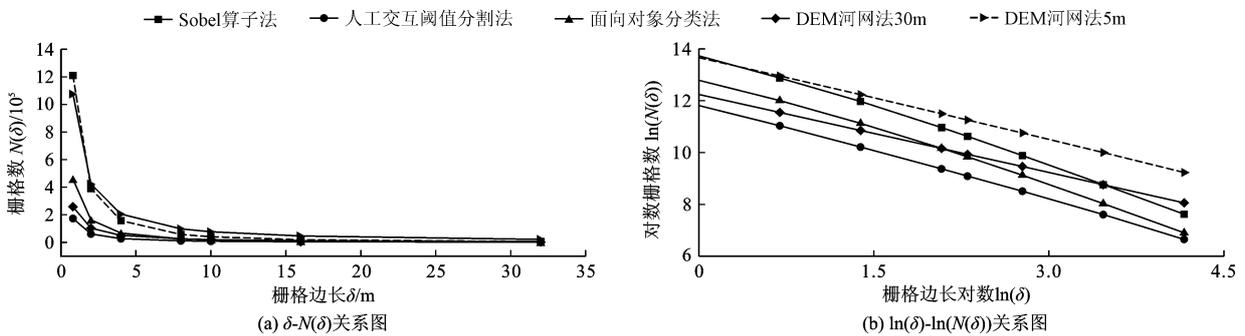


图 1 不同栅格边长 δ 条件下 $\delta - N(\delta)$ 与 $\ln(\delta) - \ln(N(\delta))$ 关系图

表 1 5 种计算方法的盒分维表

序号	方法	数据分辨率	数据类型	盒分维值 D	判定系数 R^2
1	Sobel 算子法	0.526 m × 0.536 m	GE 数据	1.3090	0.9914
2	人工交互阈值分割法	0.526 m × 0.536 m	GE 数据	1.1624	0.9976
3	面向对象分类法	0.526 m × 0.536 m	GE 数据	1.2609	0.9912
4	DEM 河网法	30 m × 30 m	DEM	1.0035	0.9999
5	DEM 河网法	5 m × 5 m	DEM	1.0530	0.9997

根据冯小庆^[15] 对水系地貌侵蚀发育阶段的划分方法, 当水系分维数小于 1.6 时, 流域地貌属于侵蚀发育阶段的幼年期; 分维数值越趋近于 1.6, 河流地貌的侵蚀阶段越趋近于幼年晚期, 河流的下蚀作用减弱, 旁蚀作用加强, 地面分割的程度越来越碎。由表 1 可知, 不同数据和方法所计算的盒分维值 $D \in [1.0035, 1.3090]$, D 值大小排序为: DEM 河网法 < 人工交互阈值分割法 < 面向对象分类法 < Sobel 算子法, 且这 4 种方法的判定系数 R^2 均大于 0.99, 这说明 4 种方法用来提取水边线均具有良好的可行

性。其中, DEM 河网法的判定系数最高, 接近于 1。这说明与其他方法相比, DEM 方法更能较好地反映河流的侵蚀发育阶段, 这和王林等^[16] 的研究结果一致。当研究区数据采用 RGB-GE 影像数据时, 人工交互阈值分割法所得分维值的判定系数较面向对象分类法和 Sobel 算子法略高, 具有较高的提取精度。不同方法提取的渭河干流杨凌段水边线的局部图如图 2 所示。

由图 2 可以看出, 3 种方法所提取水边线长度关系为: Sobel 算子法 > 人工交互阈值分割法 > 面向

对象分类法。Sobel 算子法提取水边线信息时受噪声影响提取了多余信息,使得水边线长度增加(图 2(a));面向对象分类法无法完整的提取水边线信息(图 2(c));人工交互阈值分割法提取水边线的效果最佳(图 2(b))。

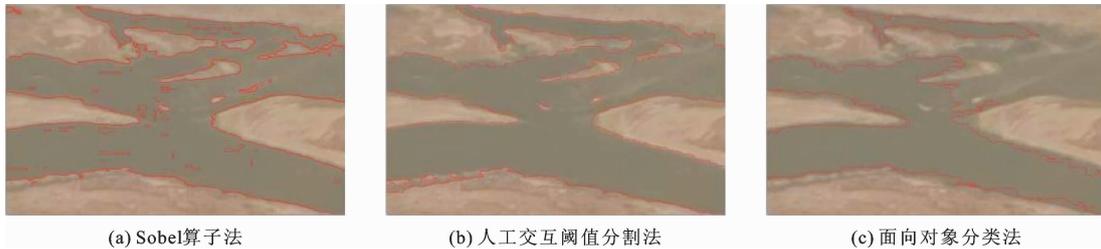


图 2 基于 RGB-GE 数据的渭河干流杨凌段水边线提取局部比较

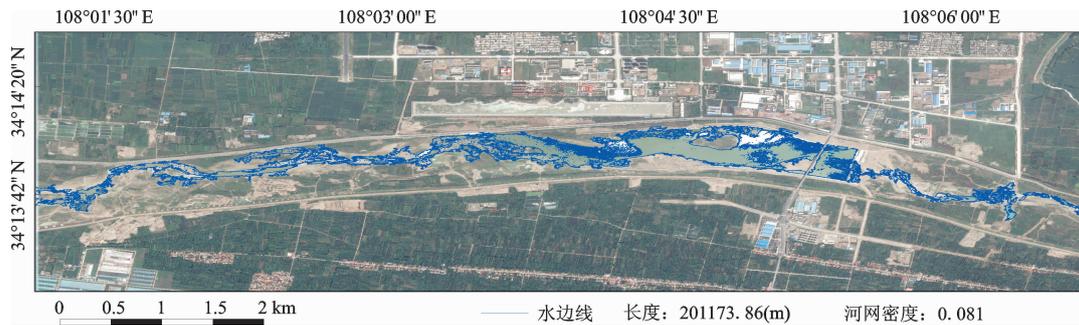


图 3 基于人工交互阈值分割法的渭河干流杨凌段水边线提取结果(以 2009 年为例)

表 2 基于人工交互阈值分割法不同年份 GE 数据水边线参数

年份	趋势线方程	判定系数 R^2	盒维值	水边线长度/m	河网密度/($\text{m} \cdot \text{m}^{-2}$)
2009	$y = -1.1624x + 12.297$	0.9976	1.1624	201173.86	0.081
2010	$y = -1.1734x + 12.965$	0.9937	1.1734	498358.92	0.094
2011	$y = -1.1071x + 12.254$	0.9959	1.1071	240602.74	0.061
2014	$y = -1.2609x + 12.587$	0.9912	1.2609	544210.45	0.087

由图 3 和表 2 可以看出,人工交互阈值分割法能够完整地提取出水边线信息,各年份水边线盒分维值小于 1.4,研究区水边线侵蚀发育阶段均处于幼年期,各判定系数 R^2 均大于 0.99;对比各年降水量数据,杨凌区水边线长度与河网密度值具有良好的契合度。因此,人工交互阈值分割法具有良好的可行性。

4.3 讨论

目前可获取的多光谱影像分辨率多为 30 m,而 0.5、1 m 乃至更高分辨率的 RGB 影像更容易收集,且多光谱影像相较于 RGB 影像的数据量大,存储要求高,处理难度也更高。本文应用两种数据进行了实例比较,结果表明,除了多光谱影像数据和地形图数据外,RGB 影像(如 GE)数据亦可用于水边线信

4.2 盒分维年际变化

根据上述分析结果,以 2009 年 RGB-GE 数据为例,基于人工交互阈值分割法的渭河干流杨凌段水边线提取结果见图 3。

以不同年份杨凌区水边线参数见表 2。

息的精确提取,本文的研究结果可为地区的水沙运移和河道管理提供可靠的数据和方法依据。然而,在研究面积较大时 RGB 影像是否也能适用于其他参数值的计算,如何提高 RGB 影像数据的提取精度与效率等问题,仍有待进一步系统研究。

5 结论

本文以渭河干流杨凌段为研究区,采用 Sobel 算子法、人工交互阈值分割法、DEM 河网法和面向对象分类法,利用多光谱影像、RGB-GE 影像和地形图数据进行了水边线信息提取和分维数计算。

(1) Sobel 算子法、人工交互阈值分割法、面向对象分类法、DEM 河网法所计算得到盒分维方程的判定系数均大于 0.99,说明这 4 种方法均能有效用

于提取河流水边线信息。

(2) Sobel 算子法因为噪声的影响,导致盒维数偏大;人工交互阈值分割法需要人工参与,工作量较大,若大面积使用需要投入较多人力;面向对象分类法的计算量较大,计算时间长,对计算机要求较高;DEM 河网法由于数据分辨率较低,对河网细节的反应能力较弱,因此推测盒维数可能小于真实值。

(3)综合来看,当数据精度较高、研究面积较小时,人工交互阈值分割法优于 Sobel 算子法和面向对象分类法。渭河干流杨凌段水边线分维值在 1.0 ~ 1.4 之间,河网地貌属于侵蚀发育阶段的幼年期,水边线长度在 [201 173.86 m, 544 210.45 m],河网密度为 0.080 m/m^2 ,符合客观实际,具有合理性。

参考文献:

- [1] 武亚遵,杜鹏卓,林云,等.基于分形分维和模糊层次分析的煤层底板突水危险性评价[J].水资源与水工程学报,2017,28(2):156-161.
- [2] XU Haiqiu. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI)[J]. Journal of Remote Sensing, 2005,9(5):79-85.
- [3] LU Shanlong, WU Bingfang, YAN Nana. Water body mapping method with HJ-1A/B satellite imagery[J]. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation, 2011,13(3):428-434.
- [4] 钱一婧,张鹰,李洪灵.常用边缘检测算法在遥感影像水边线提取比较[J].人民长江,2008,39(13):95-97.
- [5] DAUBECHIES I, SWELDENS W. Factoring wavelet transforms into lifting steps[J]. Journal of Fourier Analysis and Applications, 1998,4(3):247-269.
- [6] 崔建军,詹世富,郑雄伟.一种改进的图像边缘检测算法[J].地球科学与环境学报,2008,30(3):323-325+330.
- [7] 郑英娟,张有会,王志巍.基于八方向 Sobel 算子的边缘检测算法[J].计算机科学,2013,40(S2):354-356.
- [8] 谭媛,黄辉先,徐建闽.基于改进 Sobel 算子的遥感图像道路边缘检测方法[J].国土资源遥感,2016,28(3):7-11.
- [9] 梁立,刘庆生,刘高焕.基于遥感影像的海岸线提取方法综述[J].地球信息科学学报,2018,20(12):1745-1755.
- [10] 陈菁,刘昭辰,陈丹,等.基于数字图像处理的平原城镇河网分形特征研究[J].水资源与水工程学报,2016,27(6):31-38.
- [11] ZHANG Kun, ZHANG Yuming, WANG Pu. An Improved sobel edge algorithm and FPGA implementation[J]. Procedia Computer Science, 2018,131:243-248.
- [12] NAUSHEEN N, SEAL A, KHANNA P. A FPGA based implementation of sobel edge detection[J]. Microprocessors and Micro Systems, 2018,56:84-91.
- [13] 能昌信,王玉玲,张波,等.基于 OTSU 的 ERT 图像中污染区域识别方法研究[J].环境科学与技术,2018,41(12):138-143.
- [14] 张春华,李修楠,吴孟泉,等.基于 Landsat 8 OLI 数据与面向对象分类的昆崙山地区土地覆盖信息提取[J].地理科学,2018,38(11):1904-1913.
- [15] 冯小庆.渭河流域径流过程的分形特征及其与生态环境的关系研究[D].杨陵:西北农林科技大学,2010.
- [16] 王林,陈兴伟.基于 DEM 的流域水系分维计算与结果分析[J].地球信息科学,2007,9(4):133-137.